

カーボンロッドメッシュ筋を用いた床版のひび割れ抑制効果に対する検討

琉球大学 学生会員 松浦 葵 アール・アンド・エー 正会員 風間 洋
琉球大学准教授 正会員 富山 潤 沖縄県土木建築部 砂川勇二

1. はじめに

支間 50m を超える上部工橋梁形式として PC 箱桁橋の実績が多くなっている。しかし、沖縄県では下床版下面および桁端部に構造特性に起因したと考えられるひび割れが確認されており、1990 年代に架設された下床版中央付近に PC 鋼線定着部のある箱桁では、(a)下床版中央橋軸方向のひび割れ、(b)下床版斜め方向のひび割れ（ハの字ひび割れ）、(c)桁端部定着側面のひび割れが確認されている。また、2000 年代に架設された下床版端部に PC 鋼線定着部がある箱桁でも下床版中央橋軸方向のひび割れが確認されている¹⁾。

沖縄県の宮古島と伊良部島を結ぶ約 4km に亘る離島架橋では、中央航路部以外に PC 箱桁が採用されており、(a)および(b)のひび割れ抑制としてカーボンロッドメッシュ筋(以下、CFCC 筋)を一部箱桁の下床版かぶり部分に配筋し、ひび割れ抑制対策を行っている。この結果、現時点で PC 箱桁にひび割れは生じていないが、これが CFCC 筋の効果であるかは確認されていない。

そこで本研究では、CFCC 筋のひび割れ抑制効果を検証するために、CFCC 筋を配筋した PC 箱桁下床版を模擬した試験体を製作し、曲げ載荷試験を行った。さらに実験から得られた知見に対する妥当性を検証するために曲げ載荷試験の非線形有限要素解析を行い、実験および数値解析の両アプローチにより CFCC 筋のひび割れ抑制効果の検証を行った。

2. PC 箱桁下床版の模擬試験体の曲げ載荷試験

2.1 試験体の概要

曲げ載荷試験は図-1 に示す下床版の模擬試験体を製作し、2 点載荷で行った。CFCC 筋の効果を確認するために、模擬試験体は CFCC 筋無しと有りそれぞれ 2 本ずつ製作した。

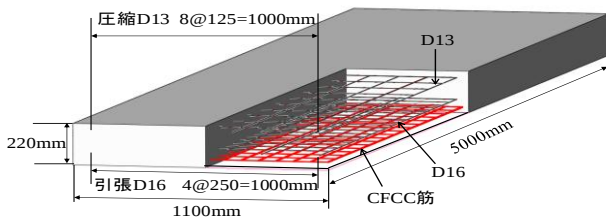


図-1 CFCC 筋有り試験体図

2.2 材料特性

表-1 に曲げ載荷試験および非線形有限要素法に用いた材料の材料特性を示す。

表-1 材料特性

	コンクリート	SD345	CFCC 筋
$E(\text{kN/mm}^2)$	44.5	200	167
ν	0.2	0.3	—
$f'_c(\text{N/mm}^2)$	77.4	—	—
$f_t(\text{N/mm}^2)$	2.75	431	2500
$f_y(\text{N/mm}^2)$	—	345	—

E:弾性係数, ν :ポアソン比, f'_c :圧縮強度, f_t :引張強度, f_y :降伏強度, コンクリートの設計基準強度は 50N/mm²

3. 非線形有限要素解析

本研究では、構造解析ソフト midas-FEA²⁾を用いて非線形有限要素解析を行った。

3.1 構成モデル

(1) 圧縮モデル

コンクリートの圧縮モデルには図-2(a)に示す放物線モデルを用いた。ここで、 f'_c はコンクリートの圧縮強度[N/mm²], G_{fc} はコンクリートの圧縮破壊エネルギー[N/mm], h は要素のひび割れ幅[mm]である。

(2) 引張軟化モデル

引張軟化モデルは、図-2(b)に示される Hordijk モデルを使用した。ここで、 f_t はコンクリートの引張強度[N/mm²], G_{ft} はコンクリートの破壊エネルギー[N/mm], $d_{\max}$ は粗骨材の最大寸法[mm]である。

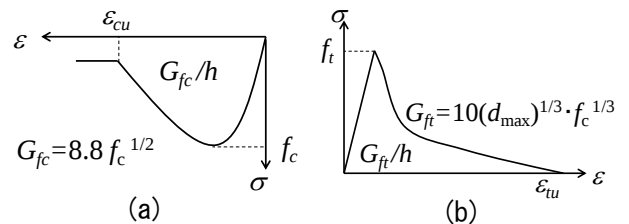


図-2 圧縮・引張応力下の応力-ひずみ関係

(3) 鉄筋・CFCC 筋モデル

鉄筋および CFCC 筋モデルには、完全弾塑性モデルを採用した。

3.2 解析モデルおよび解析条件

解析モデルおよび解析条件を図-3 に示す。解析領域は対称性を利用し、床版の 1/2 モデルを用いた。コンクリートは六面体要素、鉄筋は埋め込み型鉄筋要素、CFCC 筋にはトラス要素を採用した。載荷方法は強制変位を与え、各ステップ当たり 0.1mm とした。なお、非線形計算の収斂計算にはニュートンラプソン法を用いている。ひび割れ解析は回転ひび割れモデルを用いた。

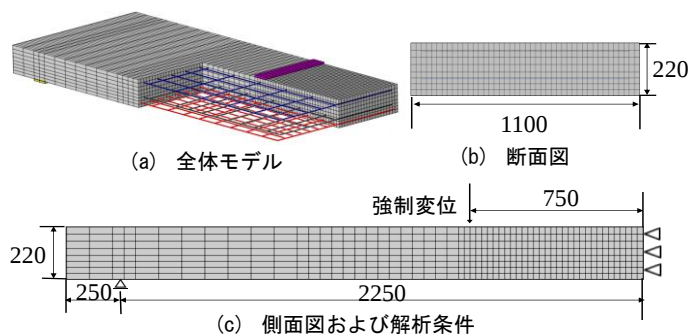


図-3 解析モデルおよび解析条件(単位:mm)

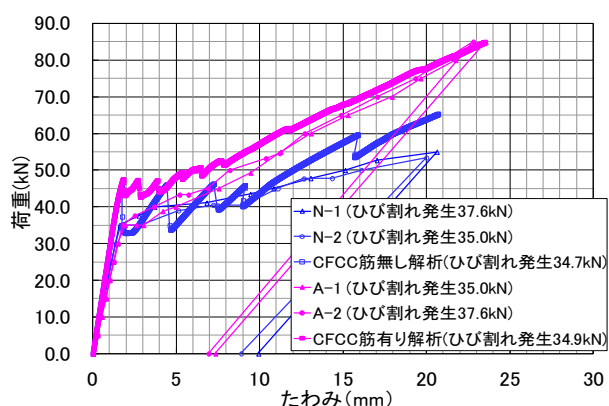


図-4 荷重-たわみ曲線

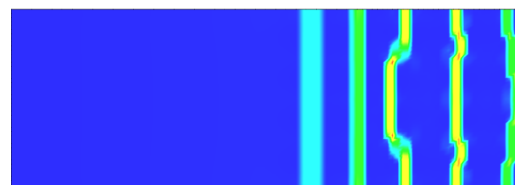
4. 解析結果および考察

図-4に実験および数値解析により得られたCFCC筋有りとなしの荷重-たわみ曲線を示す。ひび割れ発生荷重は、実験値と解析値ではほぼ同じであり、この結果よりひび割れ発生荷重に対するCFCC筋の効果は確認できない。次に、実験ではひび割れ発生荷重以降に曲げ剛性が急激に変化しているのに対し、数値解析ではひび割れ発生後もCFCC筋無しで46.4kN、有りで47.6kNまでほぼ線形性状を保っている。これは数値解析において鉄筋とコンクリートの付着を完全付着と仮定していることが原因だと考えられる。

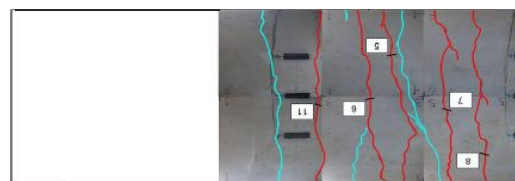
数値解析では、荷重が階段状に上下動しながら増加傾向を示しており、実験結果と異なる挙動を示している。これは、ひび割れ発生時に一時的に載荷荷重が解放されて低く出たものと考えられる。このことは、実際の載荷試験においても認められる現象であるが、実験データではデータ記録システムの問題から再現できなかった。よって、本解析結果は実験の全体的な挙動を概ね再現していると考えられる。図-5に示すひび割れ発生本数を比較すると、CFCC筋有りは無しより局所化されたひび割れが多く生じていることが実験および解析ともに確認できる。さらに、実験結果からCFCC筋有りの場合はCFCC筋無しに比較してひび割れ幅が小さいことが確認されており、これらの結果から、曲げ載荷試験時の床版下面のひび割れ発生状況は、CFCC筋によるコンクリート応力の分散効果が考えられる。



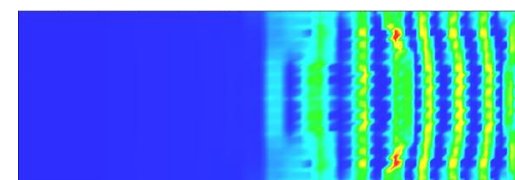
(a) 実験ひび割れCFCC筋無し(最終)



(b) 解析ひび割れCFCC筋無し(最終)



(c) 実験ひび割れCFCC筋有り(最終)



(d) 解析ひび割れCFCC筋有り(最終)

図-5 ひび割れ比較(解析:最大主ひずみ図)

5. まとめ

本研究では、CFCC筋のひび割れ抑制効果について曲げ載荷試験および数値解析的アプローチにより検証した。得られた知見と今後の課題を以下に示す。

- (1) 曲げ載荷試験および非線形有限要素法の結果より、ひび割れ発生荷重に対するCFCC筋のひび割れ抑制効果は小さい。
- (2) ひび割れ発生以降の挙動をみるとCFCC筋無しに比較し、有りの曲げ剛性が高く、CFCC筋の効果が実験および数値解析により確認できた。
- (3) 床版下面のひび割れ発生本数は、CFCC筋有り無しに比較して多いが、ひび割れ幅はCFCC筋有りの方が小さい。これは、CFCC筋をかぶりコンクリートに格子状に配筋することで、応力が分配された効果であることが数値解析結果より分かった。
- (4) 今後、解析方法を高度化し、PC箱桁をモデル化し、実荷重環境に近い荷重条件のもとCFCC筋のひび割れ抑制効果の検証に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 平安山良和:プレストレストコンクリート箱桁のひび割れ制御および塩分浸透制御に関する研究,九州大学博士論文,2011.5
- 2) midas-FEA Analysis Manual(理論マニュアル)